

# Thermoelektrisches Element und Verfahren zum Herstellen eines thermoelektrischen Elements

Patent number: DE10231445 (A1)

Publication date: 2004-01-29

Inventor(s): REBHAN MATTHIAS [DE]; ZAPF JOERG [DE]; LAUTERBACH CHRISTL [DE]

Applicant(s): INFINEON TECHNOLOGIES AG [DE]

Classification:

- international: H01L35/32; H01L35/34; H01L35/00; H01L35/32; (IPC-7); H01L35/34

- european: H01L35/34; H01L35/32

Application number: DE20021031445 20020711

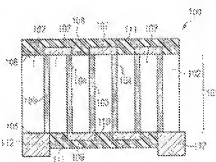
Priority number(s): DE20021031445 20020711

## Cited documents:

- DE2104175 (B2)
- DE3704372 (A1)
- DE2703831 (A1)
- US6207887 (B1)
- JP9107129 (A)

## Abstract of DE 10231445 (A1)

Ein thermoelektrisches Element (100) weist auf einen Gesamtschichtstapel (101) aus einem ersten Schichtstapel mit einer ersten elektrisch isolierenden Trägerschicht (102) und einer ersten elektrisch leitfähigen Funktionsschicht (103) sowie einem darauf angeordneten zweiten Schichtstapel mit einer zweiten elektrisch isolierenden Trägerschicht (102) und einer zweiten elektrisch leitfähigen Funktionsschicht (104) und eine elektrisch leitfähige Verbindungsschicht (107, 109), welche an mindestens einer Seitenfläche (105, 106) des Gesamtschichtstapels (101) die erste Funktionsschicht (103) mit der zweiten Funktionsschicht (104) elektrisch koppelt, wobei die erste Funktionsschicht (103) und die zweite Funktionsschicht (104) ein Thermopaar bilden.



Data supplied from the esp@cenet database — Worldwide

A thermoelectric element (100) points to a total layer pile (101) from a first layer pile with a first electrically isolating carrier layer (102) and a first electrically conductive function layer (103) as well as a second layer pile with a second electrically isolating carrier layer (102) and a second electrically conductive function layer (104), arranged on it, and an electrically conductive session layer (107, 109), which couples the first function layer (103) at at least one side (105, 106) of the total layer pile (101) with the second function layer (104) electrically, whereby the first function layer (103) and the second function layer (104) form a Thermopaar.



(19)  
Bundesrepublik Deutschland  
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) DE 102 31 445 A1 2004.01.29

(12)

## Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: 102 31 445.4

(22) Anmeldetag: 11.07.2002

(43) Offenlegungstag: 29.01.2004

(51) Int Cl.<sup>7</sup>: H01L 35/34

(71) Anmelder:  
Infineon Technologies AG, 81669 München, DE

(74) Vertreter:  
Viering, Jentschura & Partner, 80538 München

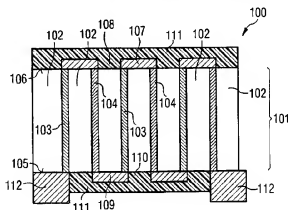
(72) Erfinder:  
Rebhan, Matthias, Dr., 85521 Riernering, DE; Zapf,  
Jörg, 81927 München, DE; Lauterbach, Christl,  
85635 Höhenkirchen-Siegertsbrunn, DE

Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

(54) Bezeichnung: Thermoelektrisches Element und Verfahren zum Herstellen eines thermoelektrischen Elements

(57) Zusammenfassung: Ein thermoelektrisches Element (100) weist auf einen Gesamtschichtstapel (101) aus einem ersten Schichtstapel mit einer ersten elektrisch isolierenden Trägerschicht (102) und einer ersten elektrisch leitfähigen Funktionsschicht (103) sowie einem darauf angeordneten zweiten Schichtstapel mit einer zweiten elektrisch isolierenden Trägerschicht (102) und einer zweiten elektrisch leitfähigen Funktionsschicht (104) und eine elektrisch leitfähige Verbindungsschicht (107, 109), welche an mindestens einer Seitenfläche (105, 106) des Gesamtschichtstapels (101) die erste Funktionsschicht (103) mit der zweiten Funktionsschicht (104) elektrisch koppelt, wobei die erste Funktionsschicht (103) und die zweite Funktionsschicht (104) ein Thermopaar bilden.



## Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein thermoelektrisches Element und ein Verfahren zum Herstellen eines thermoelektrischen Elements.

[0002] Ein thermoelektrisches Element macht sich den thermoelektrischen Effekt zu Nutze, welcher von Thomas Johann Seebeck im Jahre 1821 entdeckt wurde und zu dessen Ehren Seebeck-Effekt genannt wird. Der Seebeck-Effekt ist die Umkehrung des Peltier-Effekts, welcher im Jahre 1834 von Jean Charles Athanase Peltier entdeckt wurde. Beim Seebeck-Effekt wird an den freien Enden zweier elektrischer Leiter aus verschiedenen, jeweils homogenen sowie isotropen elektrisch leitfähigen Materialien auf Grund der unterschiedlichen Elektronegativität eine elektrische Spannung erzeugt, wenn die Kontaktstelle der beiden Leiter einerseits und die freien Enden der beiden Leiter andererseits unterschiedliche Temperaturen haben. Diese Spannung wird „Thermokraft“ oder „Thermospannung“ genannt. Die Kontaktstelle der beiden Materialien wird „Thermübergang“ genannt. Werden die freien Enden der beiden Leiter kurzgeschlossen, so fließt ein als „Thermostrom“ bezeichneter elektrischer Strom. Beim Peltier-Effekt wird hingegen an der Kontaktstelle zweier verschiedener, jeweils homogener sowie isotroper elektrisch leitfähiger Materialien mit zueinander unterschiedlicher Elektronegativität bei Stromfluss Wärme erzeugt oder entzogen.

[0003] Ein Thermopaar, welches den Peltier-Effekt ausnutzt, kann sowohl als Kühlelement als auch als Heizelement verwendet werden. Ein solches Thermopaar weist zwei elektrische Leiter aus zwei verschiedenen, jeweils homogenen sowie isotropen elektrisch leitfähigen Materialien auf, welche an ihrem einen Ende miteinander gekoppelt sind und an ihrem anderen Ende mit einem geeigneten elektrischen Schaltkreis gekoppelt sind. Aus [1] ist eine Übersicht über unterschiedliche Thermopaare und den diesen Thermopaaren zugeordneten Thermospannungen bekannt.

[0004] Werden die Kontaktstelle sowie die beiden freien Enden eines solchen Thermopaars einer Temperaturdifferenz ausgesetzt, so wird zwischen den beiden freien Enden eine Thermospannung erzeugt, welche als Energielieferant für elektronische Schaltkreise verwendet werden kann. Somit kann ein Thermopaar, welches einer Temperaturdifferenz ausgesetzt ist und welches folglich den Seebeck-Effekt ausnutzt, als thermoelektrischer Generator verwendet werden. Üblicherweise werden mehrere Thermopaare hintereinander, d.h. in Serie, geschaltet, wodurch ein thermoelektrischer Generator mit einem Thermopaar-Mehrfachstapel und mehreren Thermübergängen gebildet wird. Die von einem thermoelektrischen Generator bereitgestellte Gesamtspannung ist dann im Wesentlichen die Summe der Thermospannungen der einzelnen Thermopaare. Die Höhe der einzelnen Thermospannung ist dabei eine

Funktion des Seebeck-Koeffizienten der für das Thermopaar verwendeten Materialkombination.

[0005] Für ein einfaches Thermopaar bzw. für einen Thermopaar-Mehrfachstapel mit mehreren hintereinander geschalteten Thermopaaren wird üblicherweise eine der folgenden Materialkombinationen eingesetzt, welche einzeln oder in Kombination miteinander verwendet werden können:

- Kupfer als erstes elektrisch leitfähiges Material und Kupfer-Nickel als zweites elektrisch leitfähiges Material, und/oder
- Nickel als erstes elektrisch leitfähiges Material und Nickel-Chrom als zweites elektrisch leitfähiges Material, und/oder
- Platin-Rhodium als erstes elektrisch leitfähiges Material und Platin als zweites elektrisch leitfähiges Material.

[0006] Diese Materialkombinationen gewährleisten jeweils auf Grund großer Seebeck-Koeffizienten eine erhebliche Thermospannung und ermöglichen somit einen effizienten thermoelektrischen Generator.

[0007] Es wird insbesondere die Materialkombination Nickel und Nickel-Chrom eingesetzt, da diese Materialien überdies eine geringe Wärmeleitfähigkeit aufweisen und somit auch bei hohen Temperaturen ein linearer Verlauf der Thermospannungen erreicht werden kann.

[0008] Aus [2] ist ein makroskopisch aufgebauter thermoelektrischer Generator bekannt. Bei diesem makroskopischen thermoelektrischen Generator werden die mechanischen Kopplungen der Thermübergänge zwischen den verschiedenen elektrisch leitfähigen Materialien beispielsweise mittels Verschweißens erzeugt. Allerdings resultiert daraus ein großvolumiger thermoelektrischer Generator mit nur einigen wenigen Thermübergängen. Somit kann der bekannte makroskopische thermoelektrische Generator lediglich geringe Thermospannungen im mV-Bereich liefern.

[0009] Ein in Halbleiter-Prozesstechnik hergestellter integrierter thermoelektrischer Generator ist aus [3] und [4] bekannt. Dieser integrierte thermoelektrische Generator ist im Vergleich zu einem makroskopischen thermoelektrischen Generator erheblich miniaturisiert. Somit ergibt sich lediglich ein geringer Abstand zwischen „warmen“ und „kalten“ Thermübergängen, welche sich auf Grund der an dem thermoelektrischen Generator bereitgestellten Temperaturdifferenz ergeben. Da bei einem integrierten thermoelektrischen Generator meist der Effekt der Wärmeleitung störend auftritt, ist der Temperaturunterschied zwischen „warmen“ und „kalten“ Thermübergängen nur gering. Daraus resultiert folglich eine nur geringe Thermospannung. Überdies beschränkt die beim Herstellen verwendete Halbleiter-Prozesstechnik die einsetzbaren elektrisch leitfähigen Materialien für die Thermopaare eines integrierten thermoelektrischen Generators.

[0010] Aus [5] ist ein in Dünnschichttechnik hergestell-

ter thermoelektrischer Dünnfilm-Generator bekannt. Beim Herstellen dieses thermoelektrischen Dünnfilm-Generators werden dünne Schichten geeigneter Materialien aufeinander abgeschieden und danach mäandrierend strukturiert. Um eine ausreichend hohe Gesamtspannung bereitzustellen, weist der thermoelektrische Dünnfilm-Generator üblicherweise eine Vielzahl von Thermoübergängen auf. Dabei ergibt sich jedoch wegen der als Dünnfilme ausgebildeten elektrischen Leiterschichten ein hoher Innenwiderstand in dem thermoelektrischen Dünnfilm-Generator und somit kann der thermoelektrische Dünnfilm-Generator nur eine geringe Gesamtleistung im  $\mu\text{W}$ -Bereich bereitstellen. Außerdem ist das übliche Herstellungsverfahren nicht nur teuer und aufwändig sondern auch sehr materialbelastend für bereits erzeugte Teile des thermoelektrischen Dünnfilm-Generators. Als Materialkombination wird üblicherweise Nickel und Nickel-Chrom verwendet und zum Aufdampfen von Chrom und Nickel werden sehr hohe Temperaturen von über  $1.500^{\circ}\text{C}$  benötigt. Auf Grund der Strahlungswärme, welche von der zum Aufdampfen benötigten Quelle abgestrahlt wird, kommt es zu erheblichen mechanischen Verspannungen in den bereits erzeugten Thermopaar-Schichten des thermoelektrischen Dünnfilm-Generators. Dies hat nicht selten Brüche in den Thermopaar-Schichten und damit einen Ausfall des gesamten thermoelektrischen Dünnfilm-Generators zur Folge.

#### Aufgabenstellung

[0011] Der Erfindung liegt somit das Problem zugrunde, ein thermoelektrisches Element bereitzustellen, welches sowohl auf Grund eines elektrischen Stromflusses Wärme bzw. auf Grund einer Temperaturdifferenz einen elektrischen Strom erzeugen kann als auch gegenüber dem Stand der Technik einerseits einfacher herstellbar ist und andererseits bereits bei einer geringen Temperaturdifferenz eine höhere Spannung sowie eine höhere Leistung bereitstellen kann.

[0012] Das Problem wird durch ein thermoelektrisches Element sowie ein Verfahren zum Herstellen eines thermoelektrischen Elements mit den Merkmalen gemäß den unabhängigen Patentansprüchen gelöst.

[0013] Ein thermoelektrisches Element weist auf: einen ersten Schichtstapel, welcher aufweist eine erste Trägerschicht aus einem elektrisch isolierenden Material und eine auf der ersten Trägerschicht angeordnete erste Funktionsschicht aus einem ersten elektrisch leitfähigen Material, einen auf dem ersten Schichtstapel angeordneten zweiten Schichtstapel, welcher aufweist eine zweite Trägerschicht aus einem elektrisch isolierenden Material und eine auf der zweiten Trägerschicht angeordnete zweite Funktionsschicht aus einem zweiten elektrisch leitfähigen Material, wobei der erste Schichtstapel und der darüber angeordnete zweite Schichtstapel einen Gesamt-

schichtstapel bilden, und eine elektrisch leitfähige Verbindungsschicht, welche an mindestens einer Seitenfläche des Gesamtschichtstapels vorgesehen ist und welche die erste Funktionsschicht mit der zweiten Funktionsschicht elektrisch koppelt, wobei das erste elektrisch leitfähige Material ungleich dem zweiten elektrisch leitfähigen Material ist, und wobei das erste elektrisch leitfähige Material und das zweite elektrisch leitfähige Material derart gewählt sind, dass die erste Funktionsschicht und die zweite Funktionsschicht ein Thermopaar bilden.

[0014] Bei einem Verfahren zum Herstellen eines thermoelektrischen Elements werden folgende Schritte ausgeführt: Bereitstellen einer ersten elektrisch isolierenden Folie und einer zweiten elektrisch isolierenden Folie; Aufbringen eines ersten elektrisch leitfähigen Materials auf die erste elektrisch isolierende Folie, so dass eine erste Mehrschichtfolie erzeugt wird; Aufbringen eines zweiten elektrisch leitfähigen Materials auf die zweite elektrisch isolierende Folie, so dass eine zweite Mehrschichtfolie erzeugt wird, wobei das zweite elektrisch leitfähige Material ungleich dem ersten elektrisch leitfähigen Material ist und einen hohen Seebeck-Koeffizienten aufweist; Aufbringen der zweiten Mehrschichtfolie auf die erste Mehrschichtfolie, so dass eine Schichtenfolie erzeugt wird; Strukturieren der Schichtenfolie, so dass aus der Schichtenfolie ein Gesamtschichtstapel herausgetrennt wird; Aufbringen einer elektrisch leitfähigen Schicht auf mindestens einer Seitenfläche des Gesamtschichtstapels; und Strukturieren der elektrisch leitfähigen Schicht auf der Seitenfläche des Gesamtschichtstapels, so dass eine elektrisch leitfähige Verbindungsschicht erzeugt wird. Dabei wird aus dem ersten elektrisch leitfähigen Material und dem zweiten elektrisch leitfähigen Material mittels der elektrisch leitfähigen Verbindungsschicht ein Thermopaar gebildet.

[0015] Anschaulich stellt der Gesamtschichtstapel des thermoelektrischen Elements folglich eine Sandwich-artige Struktur dar.

[0016] Ein Vorteil der Erfindung ist darin zu sehen, dass das thermoelektrische Element bereits bei einer Temperaturdifferenz  $\Delta T$  von nur  $\Delta T = 5^{\circ}\text{C}$  eine Gesamtspannung im  $\text{V}$ -Bereich und eine Gesamtleistung im  $\text{mW}$ -Bereich bereitstellen kann.

[0017] Ein weiterer Vorteil des thermoelektrischen Elements ist, dass das thermoelektrische Element einfach und kostengünstig hergestellt werden kann. Insbesondere das erfindungsgemäße Herstellungsverfahren basiert auf einfachen, leicht durchzuführenden Prozessen.

[0018] Das erfindungsgemäße Herstellungsverfahren hat überdies den Vorteil, dass bis inklusive des Erzeugens der Schichtenfolie jeder Verfahrensschritt in einem einfach handhabbaren, sogenannten "roll-to-roll-Verfahren" durchgeführt werden kann. Anschaulich wird bei einem roll-to-roll-Verfahren eine zu bearbeitende Folie von einer Vorratsrolle kontinuierlich abgerollt, auf eine Zielrolle wieder aufgerollt

und zwischen Abrollen und Aufrollen bearbeitet. Bekannte roll-to-roll-Verfahren sind der Transport von Filmen in Fotoapparaten und der Transport von Magnetbändern in Videorekordern oder Tonbandgeräten.

[0019] Die erste Trägerschicht und die zweite Trägerschicht weisen bevorzugt eine Kunststoffolie auf. Somit sind die erste Trägerschicht und die zweite Trägerschicht vorzugsweise aus dem gleichen elektrisch isolierenden Material gefertigt.

[0020] In einer bevorzugten Ausführungsform des thermoelektrischen Elements sind mindestens ein weiterer erster Schichtstapel über dem Gesamtschichtstapel und mindestens eine weitere elektrisch leitfähige Verbindungsschicht vorgesehen. Die weitere elektrisch leitfähige Verbindungsschicht ist dabei an einer weiteren Seitenfläche des Gesamtschichtstapels vorgesehen. Anschaulich weist der Gesamtschichtstapel damit die Form einer Mäander-Struktur auf, bei der mehrere Thermopaare hintereinander geschaltet sind. Dies hat den Vorteil, dass beim Nutzen des thermoelektrischen Elements als thermoelektrischer Generator beim Anlegen einer Temperaturdifferenz eine höhere Gesamt-Thermospannung generiert werden kann.

[0021] Vorzugsweise weisen/weist die erste Trägerschicht und/oder die zweite Trägerschicht mindestens ein elektrisch isolierendes Material aus der nachfolgenden Gruppe auf: Benzo-Cyclo-Buten, Polyethylen, Polyethylenaphthalat (PEN), Polyethylen-terephthalat (PET), Polyimid, Polypropylen (PP) und Polytetrafluorethylen. Benzo-Cyclo-Buten bzw. Polytetrafluorethylen werden auch als Cycloten™ bzw. Teflon™ bezeichnet.

[0022] Das erste elektrisch leitfähige Material und/oder das zweite elektrisch leitfähige Material weisen/weist bevorzugt mindestens auf: Chrom, Eisen, Kupfer, Nickel, Platin, Rhodium, Titan, eine Legierung aus den vorangegangenen Metallen, ein elektrisch leitfähiges Polymer, einen p-Halbleiter, insbesondere p-dotiertes Silizium und/oder Wismut-Antimon-Tellurid, und/oder einen n-Halbleiter, insbesondere n-dotiertes Silizium und/oder Wismut-Selenid-Tellurid. Als Wismut-Antimon-Tellurid kommt insbesondere Material mit der Strukturformel  $(\text{Bi}_{0,25}\text{Sb}_{0,75})_2\text{Te}_3$  zur Anwendung. Als Wismut-Selenid-Tellurid kommt insbesondere Material mit der Strukturformel  $\text{Bi}_2(\text{Se}_{0,5}\text{Te}_{0,5})_3$  zur Anwendung.

[0023] Vorzugsweise weisen das erste elektrisch leitfähige Material, das zweite elektrisch leitfähige Material sowie das elektrisch isolierende Material der ersten Trägerschicht und der zweiten Trägerschicht jeweils eine Wärmeleitfähigkeit von unter  $100 \text{ W-K}^{-1}\text{-m}^{-1}$  auf. Solche geringen Werte für die Wärmeleitfähigkeit haben den Vorteil, dass jedes einzelne Thermopaar eine anliegende Temperaturdifferenz zwischen Thermoübergang und Anschlussenden so effizient wie möglich umsetzt. Somit generiert ein Thermopaar mit geringer Wärmeleitfähigkeit eine höhere Thermospannung als ein gleichartiges Thermo-Element mit höherer Wärmeleitfähigkeit. Bei den

nachfolgenden Materialien ist in der jeweiligen Klammer die ungefähre Wärmeleitfähigkeit angegeben: Chrom ( $43 \text{ W-K}^{-1}\text{-m}^{-1}$ ), Nickel ( $90 \text{ W-K}^{-1}\text{-m}^{-1}$ ), Plastomere ( $0,2 \text{ W-K}^{-1}\text{-m}^{-1}$ ), Silizium ( $1,4 \text{ W-K}^{-1}\text{-m}^{-1}$ ) und Siliziumdioxid ( $150 \text{ W-K}^{-1}\text{-m}^{-1}$ ).

[0024] Die elektrisch leitfähige Verbindungsschicht weist bevorzugt mindestens ein Material aus der nachfolgenden Gruppe auf: Aluminium, Chrom, Gold, Kupfer, Nickel, Silber, Platin und Titan. Dies hat den Vorteil, dass die elektrisch leitfähige Verbindungsschicht mittels eines Sputter-Prozesses, mittels Aufdampfens oder mittels einer Gasphasenabscheidung (CVD = chemical vapor deposition) aufgebracht werden kann. Somit ist ein einfaches Erzeugen der elektrisch leitfähigen Verbindungsschicht möglich.

[0025] Bei dem erfindungsgemäßen Verfahren wird als erste elektrisch isolierende Folie und als zweite elektrisch isolierende Folie bevorzugt eine Kunststoffolie verwendet. Als Material wird bevorzugt mindestens ein elektrisch isolierendes Material aus der nachfolgenden Gruppe gewählt: Benzo-Cyclo-Buten, Polyethylen, Polyethylenaphthalat, Polyethylen-terephthalat, Polyimid, Polypropylen und Polytetrafluorethylen.

[0026] Die Seitenfläche des Gesamtschichtstapels wird vor dem Aufbringen der elektrisch leitfähigen Schicht vorzugsweise gereinigt. Damit wird ein verbessertes Haften der aufzubringenden elektrisch leitfähigen Schicht auf der Seitenfläche des Gesamtschichtstapels erreicht. Insbesondere kann/können mittels Polierens etwaige Verunreinigungen und/oder Oberflächenrauigkeiten auf der Seitenfläche des Gesamtschichtstapels entfernt werden.

[0027] In einer bevorzugten Weiterbildung des erfindungsgemäßen Verfahrens wird auf die Schichtenfolie mindestens eine weitere erste Mehrschichtfolie aufgebracht. Des Weiteren wird mindestens eine weitere elektrisch leitfähige Verbindungsschicht auf einer weiteren Seitenfläche des Gesamtschichtstapels derart gebildet, dass das zweite elektrisch leitfähige Material der zweiten Mehrschichtfolie elektrisch mit dem ersten elektrisch leitfähigen Material der weiteren ersten Mehrschichtfolie gekoppelt wird. Auf diese Weise werden mehrere hintereinander geschaltete Thermopaare erzeugt, welche dann eine mäanderförmige Struktur bilden.

[0028] Das Aufbringen der zweiten Mehrschichtfolie auf die erste Mehrschichtfolie erfolgt bevorzugt mittels Laminierens. Bei einer möglichen Art von Laminierung werden die beiden Mehrschichtfolie zunächst erhitzt und dann wird die zweite Mehrschichtfolie auf die erste Mehrschichtfolie gepresst. Das Pressen der zweiten Mehrschichtfolie auf die erste Mehrschichtfolie kann beispielsweise mittels Walzens erfolgen. Alternativ können auch andere Arten von Laminierung zur Anwendung kommen.

[0029] Vorzugsweise erfolgt das Strukturieren der elektrisch leitfähigen Schicht auf der Seitenfläche des Gesamtschichtstapels mittels eines Lasers. Dabei wird die elektrisch leitfähige Schicht an allen Stel-

len, an denen keine direkte leitfähige Verbindung zwischen zwei benachbarten Schichten aus elektrisch leitfähigem Material gewünscht wird, mittels Laserstrahlung entfernt. Dabei wird das zu entfernende elektrisch leitfähige Material an denjenigen Stellen verdampft, auf die der Laserstrahl fokussiert wird. Das lokale Entfernen der elektrisch leitfähigen Schicht ist insbesondere bei Anordnung mehrerer Thermopaare in mäandrierender Struktur erforderlich.

[0030] Das Aufbringen des ersten elektrisch leitfähigen Materials auf die erste elektrisch isolierende Folie und/oder das Aufbringen des zweiten elektrisch leitfähigen Materials auf die zweite elektrisch isolierende Folie und/oder das Aufbringen der elektrisch leitfähigen Schicht auf der Seitenfläche des Gesamtschichtstapels erfolgt bevorzugt mittels eines Sputter-Prozesses, mittels Aufdampfens oder mittels eines CVD-Prozesses. Vorzugsweise wird dazu als erstes elektrisch leitfähiges Material und/oder als zweites elektrisch leitfähiges Material mindestens ein Material aus der nachfolgenden Gruppe gewählt: Chrom, Eisen, Kupfer, Nickel, Platin, Rhodium, Titan, eine Legierung aus den vorangegangenen Metallen, ein elektrisch leitfähiges Polymer, ein p-Halbleiter, insbesondere p-dotiertes Silizium und/oder Wismut-Antimon-Tellurid, und/oder ein n-Halbleiter, insbesondere n-dotiertes Silizium und/oder Wismut-Selenid-Tellurid. Als Wismut-Antimon-Tellurid wird insbesondere Material mit der Strukturformel  $(\text{Bi}_{0,25}\text{Sb}_{0,75})_2\text{Te}_3$  angewendet. Als Wismut-Selenid-Tellurid wird insbesondere Material mit der Strukturformel  $\text{Bi}_2(\text{Se}_{0,1}\text{Te}_{0,9})_3$  angewendet. Für die elektrisch leitfähige Verbindungsschicht wird hingegen bevorzugt mindestens ein Material aus der nachfolgenden Gruppe verwendet: Aluminium, Chrom, Gold, Kupfer, Nickel, Silber, Platin und Titan.

[0031] Vorzugsweise wird zum Fertigstellen des thermoelektrischen Elements über allen Seitenflächen des Gesamtschichtstapels und somit über allen elektrisch leitfähigen Verbindungsschichten eine Passivierungsschicht aufgebracht. Diese Passivierungsschicht hat die Aufgabe, das thermoelektrische Element gegenüber der Umgebung elektrisch zu isolieren, um unbeabsichtigte elektrische Kurzschlüsse zu vermeiden. Außerdem reduziert die Passivierungsschicht die Einflüsse der Umwelt auf die elektrisch leitfähigen Verbindungsschichten, d.h. die Korrosion der elektrisch leitfähigen Verbindungsschichten.

[0032] Als erstes elektrisch leitfähiges Material, als zweites elektrisch leitfähiges Material sowie als elektrisch isolierendes Material der ersten elektrisch isolierenden Folie und der zweiten elektrisch isolierenden Folie wird jeweils bevorzugt ein Material mit jeweils einer Wärmeleitfähigkeit von unter 100  $\text{W}\cdot\text{K}^{-1}\cdot\text{m}^{-1}$  verwendet. Damit kann die Effizienz des thermoelektrischen Elements gerade bei kleinen Dimensionen des thermoelektrischen Elements erhöht werden.

[0033] Ein Ausführungsbeispiel der Erfindung ist in den Figuren dargestellt und wird im Folgenden näher erläutert. Dabei bezeichnen gleiche Bezugszeichen gleiche Komponenten.

[0034] Es zeigen

[0035] Fig. 1 einen schematischen Querschnitt durch ein thermoelektrisches Element gemäß einem Ausführungsbeispiel der Erfindung;

[0036] Fig. 2 eine Darstellung eines ersten Teils eines Herstellungsverfahrens für ein thermoelektrisches Element gemäß dem Ausführungsbeispiel der Erfindung;

[0037] Fig. 3 eine Darstellung eines zweiten Teils des Herstellungsverfahrens für ein thermoelektrisches Element gemäß dem Ausführungsbeispiel der Erfindung;

[0038] Fig. 4 eine Darstellung eines dritten Teils des Herstellungsverfahrens für ein thermoelektrisches Element gemäß dem Ausführungsbeispiel der Erfindung;

[0039] Fig. 5 eine Darstellung eines vierten Teils des Herstellungsverfahrens für ein thermoelektrisches Element gemäß dem Ausführungsbeispiel der Erfindung;

[0040] Fig. 6 eine perspektivische Darstellung eines unvollständigen thermoelektrischen Elements gemäß dem Ausführungsbeispiel der Erfindung nach dem fünften Teil des Herstellungsverfahrens;

[0041] Fig. 7 eine Darstellung eines fünften Teils des Herstellungsverfahrens für ein thermoelektrisches Element gemäß dem Ausführungsbeispiel der Erfindung; und

[0042] Fig. 8 eine Darstellung eines sechsten Teils des Herstellungsverfahrens für ein thermoelektrisches Element gemäß dem Ausführungsbeispiel der Erfindung.

[0043] Fig. 1 zeigt einen schematischen Querschnitt durch ein thermoelektrisches Element 100 gemäß einem Ausführungsbeispiel der Erfindung.

[0044] Das thermoelektrische Element 100 weist einen Schichtstapel 101 auf. In dem Schichtstapel 101 sind mehrere elektrisch isolierende Folien 102, dazwischen angeordnete erste elektrisch leitfähige Schichten 103 sowie dazwischen angeordnete zweite elektrisch leitfähige Schichten 104 aufeinanderfolgend vorgesehen. Dabei wechseln sich jeweils eine erste elektrisch leitfähige Schicht 103 und eine zweite elektrisch leitfähige Schicht 104 in der Reihenfolge ihrer Anordnung in dem Schichtstapel 101 ab.

[0045] Gemäß dem Ausführungsbeispiel wird als elektrisch isolierende Folie 102 eine Polyimid-Folie verwendet, welche 20  $\mu\text{m}$  dick ist. Als erste elektrisch leitfähige Schicht 103 bzw. als zweite elektrisch leitfähige Schicht 104 wird gemäß dem Ausführungsbeispiel jeweils eine 0,5  $\mu\text{m}$  dicke Schicht aus  $(\text{Bi}_{0,25}\text{Sb}_{0,75})_2\text{Te}_3$  bzw.  $\text{Bi}_2(\text{Se}_{0,1}\text{Te}_{0,9})_3$  verwendet. Diese Materialien sind dabei mit einer Konzentration von  $2,5\cdot 10^{19}$  Atomen pro  $\text{cm}^3$  p-dotiert bzw. n-dotiert.

[0046] Der Schichtstapel 101 wird von einer ersten Schichtstapel-Seitenwand 105 und einer gegenüberliegenden zweiten Schichtstapel-Seitenwand 106 nach unten bzw. oben begrenzt. Auf der zweiten Schichtstapel-Seitenwand 106 koppelt jeweils ein erstes Koppelschicht-Element 107 eine erste elektrisch leitfähige Schicht 103 mit einer daneben befindlichen zweiten elektrisch leitfähigen Schicht 104. Um nicht alle ersten elektrisch leitfähigen Schichten 103 mit allen zweiten elektrisch leitfähigen Schichten 104 auf der zweiten Schichtstapel-Seitenwand 106 kurzzuschließen, weisen die ersten Koppelschicht-Elemente 107 elektrisch isolierende erste Aussparungen 108 auf. In vergleichbarer Weise sind auf der ersten Schichtstapel-Seitenwand 105 zweite Koppelschicht-Elemente 109 mit elektrisch isolierenden zweiten Aussparungen 110 vorgesehen. Somit bilden jeweils eine erste elektrisch leitfähige Schicht 103 und eine zweite elektrisch leitfähige Schicht 104 einerseits sowie ein erstes Koppelschicht-Element 107 oder ein zweites Koppelschicht-Element 109 andererseits je ein Thermopaar. Um die ersten Koppelschicht-Elemente 107 und die zweiten Koppelschicht-Elemente 109 herzustellen, werden zunächst eine erste Gesamtkoppelschicht und eine zweite Gesamtkoppelschicht erzeugt, welche anschließend mittels eines Lasers strukturiert werden. Als elektrisch leitfähiges Material für die ersten Koppelschicht-Elemente 107 und die zweiten Koppelschicht-Elemente 109 wird gemäß dieses Ausführungsbeispiels Aluminium verwendet.

[0047] Um elektrische Kurzschlüsse zu vermeiden sowie als Schutz vor Umwelteinflüssen ist der Schichtstapel 101 auf allen Seitenwänden mit einer elektrisch isolierenden Passivierungsschicht 111 versehen. Diese Passivierungsschicht 111 ist in Fig. 1 nur unterhalb der ersten Schichtstapel-Seitenwand 105 und oberhalb der zweiten Schichtstapel-Seitenwand 106 sichtbar. Die ersten Koppelschicht-Elemente 107 und die zweiten Koppelschicht-Elemente 109 werden von der Passivierungsschicht 111 vollständig überdeckt.

[0048] Das thermoelektrische Element 100 weist überdies noch zwei Anschlüsse 112 auf. Die Anschlüsse 112 dienen zum Abgreifen der Gesamt-Thermospannung, wenn das thermoelektrische Element 100 als thermoelektrischer Generator verwendet wird und einem Temperaturgradienten ausgesetzt wird, oder zum Einspeisen von elektrischem Strom, wenn das thermoelektrische Element 100 als Heizelement oder als Kühlelement verwendet wird.

[0049] Anschaulich ist das thermoelektrische Element 100 derart vorgesehen, dass die beiden Anschlüsse 112 mittels der ersten elektrisch leitfähigen Schichten 103, der zweiten elektrisch leitfähigen Schichten 104, der ersten Koppelschicht-Elemente 107 und der zweiten Koppelschicht-Elemente 109 elektrisch miteinander gekoppelt werden. Alle diese elektrisch koppelnden Schichten sind insbesondere mäanderförmig angeordnet. Das thermoelektrische

Element 100 weist überdies mehrere in Serie geschaltete Thermopaare auf.

[0050] In einem erfindungsgemäßen thermoelektrischen Element 100 mit den oben aufgeführten Materialien wurden 5.000 Thermopaare in Serie geschaltet, wobei das thermoelektrische Element 100 senkrecht zur Zeichenebene eine Flächenausdehnung von 20 mm<sup>2</sup> hat. Beim Anlegen einer Temperaturdifferenz von 5°C zwischen der ersten Schichtstapel-Seitenwand 105 und der zweiten Schichtstapel-Seitenwand 106 liefert das thermoelektrische Element 100 dann eine Gesamt-Thermospannung von 8,5 V und eine nutzbare Leistung von 0,06 mW. Werden an Stelle von (Bi<sub>0,25</sub>Sb<sub>0,75</sub>)<sub>2</sub>Te<sub>3</sub> und Bi<sub>2</sub>(Se<sub>0,1</sub>Te<sub>0,9</sub>)<sub>3</sub> für die ersten elektrisch leitfähigen Schichten 103 bzw. die zweiten elektrisch leitfähigen Schichten 104 Nickel und Chrom verwendet, liefert das thermoelektrische Element 100 bei sonst gleichbleibenden Werten eine Gesamt-Thermospannung von 1 V und eine nutzbare Leistung von 0,61 mW. Dieser Unterschied in der Gesamt-Thermospannung bzw. der nutzbaren Leistung wird durch die unterschiedlichen Kontaktwiderstände verursacht. Ein Thermopaar aus den Tellurid-Halbleitern weist eine Thermospannung von etwa 200 µV/°C auf, was im Vergleich zu einem Thermopaar aus Nickel und Chrom mit einer Thermospannung von etwa 40 µV/°C zwar um einen Faktor 5 größer ist. Ein auf den Tellurid-Halbleitern basierendes Thermopaar hat jedoch den Nachteil eines sehr hohen Kontaktwiderstands im Bereich von MΩ, wohingegen ein auf Nickel und Chrom basierendes Thermopaar nur einen geringen Kontaktwiderstand im Bereich von mΩ aufweist. Für die industrielle Anwendung des thermoelektrischen Elements 100 empfehlen sich gegenwärtig somit Nickel und Chrom als elektrisch leitfähige Materialien für die ersten elektrisch leitfähigen Schichten 103 und die zweiten elektrisch leitfähigen Schichten 104. Diese Materialien haben gegenüber den Tellurid-Halbleitern außerdem den Vorteil, dass sie ungiftig sind und somit bei einer Entsorgung des thermoelektrischen Elements 100 die Umwelt geschont wird.

[0051] Das thermoelektrische Element 100 eignet sich damit bei geeigneter Positionierung in einem Temperaturgradienten sehr gut als Spannungsquelle in einem elektronischen Gerät, beispielsweise für eine Uhr, vorzugsweise eine Armbanduhr, für ein Hörgerät oder allgemein für einen elektronischen Sensor.

[0052] Im Folgenden wird nun schrittweise ein Herstellungsverfahren für das thermoelektrische Element 100 gemäß dem Ausführungsbeispiel der Erfindung beschrieben.

[0053] Fig. 2 zeigt eine Darstellung eines ersten Teils eines erfindungsgemäßen Herstellungsverfahrens für das thermoelektrische Element 100.

[0054] Auf einer ersten Rolle 201 ist eine elektrisch isolierende Folie 202 aufgewickelt. Gemäß dem Ausführungsbeispiel wird als elektrisch isolierende Folie

202 eine Polyimid-Folie verwendet, welche 20 µm dick ist. Diese wird während des erfindungsgemäßen Herstellungsverfahrens von der ersten Rolle 201 abgerollt und durchläuft einen Beschichtungsprozess. Die Folienunterseite 203 wird in diesem Beschichtungsprozess mit dampfförmigem, elektrisch leitfähigem Material 204 beschichtet, wodurch eine beschichtete Folie 206 erzeugt wird. Die beschichtete Folie 206 weist folglich die ursprüngliche elektrisch isolierende Folie 202 sowie eine Schicht aus elektrisch leitfähigem Material auf der Folienunterseite 203 auf. Das dampfförmige, elektrisch leitfähige Material 204 stammt aus einer beheizten Quelle 205, welche das elektrisch leitfähige Material aus seiner ursprünglich festen Form mittels Heizens in die Dampfform überführt. Gemäß dem Ausführungsbeispiel weist das elektrisch leitfähige Material der bedampften Folie 206 ( $\text{Bi}_{0,25}\text{Sb}_{0,75}$ ) $_2\text{Te}_3$  auf, welches mit einer Konzentration von  $2,5 \cdot 10^{19}$  Atomen pro  $\text{cm}^3$  p-dotiert ist, sowie eine Schichtdicke von 0,5 µm hat. Die beschichtete Folie 206 wird nun auf eine zweite Rolle 207 wieder aufgerollt.

[0055] Auf die oben beschriebene Weise wird auch eine zweite beschichtete Folie hergestellt, bei welcher gemäß dem Ausführungsbeispiel auf eine ebenfalls 20 µm dicke Polyimid-Folie eine 0,5 µm dicke Schicht aus  $\text{Bi}_2(\text{Se}_{0,1}\text{Te}_{0,9})_3$  aufgebracht ist, welche ihrerseits mit einer Konzentration von  $2,5 \cdot 10^{19}$  Atomen pro  $\text{cm}^3$  n-dotiert ist.

[0056] Die Fig. 3 zeigt eine Darstellung eines zweiten Teils eines erfindungsgemäßen Herstellungsverfahrens für das thermoelektrische Element 100.

[0057] Es werden von einer ersten Rolle 301 und einer zweiten Rolle 303 gleichzeitig eine erste beschichtete Folie 302 und eine zweite beschichtete Folie 304 abgerollt. Diese beiden beschichteten Folien 302, 304 unterscheiden sich dadurch, dass sie mit zwei unterschiedlichen elektrisch leitfähigen Materialien derart beschichtet wurden, dass beide elektrisch leitfähigen Materialien zusammengebracht ein Thermopaar bilden können.

[0058] Gemäß dem Ausführungsbeispiel werden als beschichtete Folien 302, 304, wie oben bereits beschrieben, 20 µm dicke Polyimid-Folien verwendet, welche jeweils mit einer 0,5 µm dicken Schicht aus  $(\text{Bi}_{0,25}\text{Sb}_{0,75})_2\text{Te}_3$  bzw.  $\text{Bi}_2(\text{Se}_{0,1}\text{Te}_{0,9})_3$  beschichtet wurden. Dabei sind die Schicht aus  $(\text{Bi}_{0,25}\text{Sb}_{0,75})_2\text{Te}_3$  bzw.  $\text{Bi}_2(\text{Se}_{0,1}\text{Te}_{0,9})_3$  mit einer Konzentration von  $2,5 \cdot 10^{19}$  Atomen pro  $\text{cm}^3$  p-dotiert bzw. n-dotiert.

[0059] Die beiden beschichteten Folien 302, 304 durchlaufen nun eine Laminiervorrichtung 305, welche die beiden beschichteten Folien 302, 304 zu einer Stapelfolie 306 verbindet. Gemäß dem Ausführungsbeispiel erfolgt das Laminieren unter gleichzeitiger Anwendung von Wärme und Pressdruck mittels geeignet gestalteter Walzen. Zum besseren Verbinden der beiden beschichteten Folien 302, 304 kann eine dünne Kleberschicht aus Polyimid zwischen den beiden beschichteten Folien 302, 304 vorgesehen sein. Diese Kleberschicht ist in den Figuren nicht dar-

gestellt und kann eine Dicke von wenigen µm aufweisen. Die Stapelfolie 306 wird schließlich auf eine dritte Rolle 307 wieder aufgerollt.

[0060] Wird der Laminierprozess mit mehreren Stapelfolien 306 durchgeführt, resultiert daraus die in Fig. 4 dargestellte Mehrschicht-Stapelfolie 400, welche auf einer Trommel 401 aufgerollt ist. In der Mehrschicht-Stapelfolie 400 sind mehrere einzelne Stapelfolien 402, 403 miteinander verbunden. Ein Querschnitt durch die Mehrschicht-Stapelfolie 400 ergibt dann eine wiederkehrende Aneinanderreihung der folgenden Schichtanordnung: elektrisch isolierende Folienschicht, Schicht mit erstem elektrisch leitfähigem Material, elektrisch isolierende Folienschicht und Schicht mit zweitem elektrisch leitfähigem Material.

[0061] Fig. 5 zeigt eine Darstellung eines vierten Teils eines erfindungsgemäßen Herstellungsverfahrens für das thermoelektrische Element 100.

[0062] Die auf der Trommel 401 aufgewickelte Mehrschicht-Stapelfolie 400 wird nun strukturiert, indem Schnitte 500 in die Mehrschicht-Stapelfolie 400 eingebracht werden. Dadurch werden aus der Mehrschicht-Stapelfolie 400 mehrere Schichtstapel 101 herausgetrennt. Das Strukturieren erfolgt gemäß dem Ausführungsbeispiel mittels Trennschleifens. Alternativ kann das Strukturieren auch mittels Sägens oder einer Lasermaterialbearbeitung erfolgen. Diese einzelnen Schichtstapel 501 werden nun nachfolgend jeweils für sich weiterbehandelt.

[0063] Einen solchen Schichtstapel 101, welcher ein unvollständig erzeugtes thermoelektrisches Element 100 gemäß dem Ausführungsbeispiel der Erfindung ist, stellt Fig. 6 perspektivisch dar. In dieser perspektivischen Darstellung ist deutlich die alternierende Abfolge der Schichten zu erkennen. Zwischen jeweils zwei elektrisch isolierenden Folien 102 ist abwechselnd eine erste elektrisch leitfähige Schicht 103 und eine zweite elektrisch leitfähige Schicht 104 angeordnet.

[0064] Fig. 7 zeigt eine Darstellung eines fünften Teils eines erfindungsgemäßen Herstellungsverfahrens für das thermoelektrische Element 100.

[0065] Der Schichtstapel 101 ist im Vergleich zu Fig. 6 um 90° gedreht sowie als Frontansicht dargestellt. Die Seitenflächen des Schichtstapels 101, von denen hier nur die erste Schichtstapel-Seitenwand 105 und die zweite Schichtstapel-Seitenwand 106 dargestellt werden können, werden nach dem Heraustrennen aus der Mehrschicht-Stapelfolie 400 poliert. Alternativ können die Seitenflächen des Schichtstapels 101 auch einer Reinigung mittels eines Plasmas oder einer Ätzung unterzogen werden. Anschließend wird beispielsweise in einem Sputter-Prozess auf die erste Schichtstapel-Seitenwand 105 sowie auf die zweite Schichtstapel-Seitenwand 106 gemäß diesem Ausführungsbeispiel eine 100 nm dicke Schicht aus Aluminium aufgebracht, wodurch die erste elektrisch leitfähige Seitenschicht 701 als erste Gesamtkoppelschicht sowie die zweite elektrisch leit-



fähige Seitenschicht **702** als zweite Gesamtkoppelschicht gebildet werden. Alternativ kann statt Aluminium auch ein anderes elektrisch leitfähiges Material verwendet werden.

[0066] Die erste elektrisch leitfähige Seitenschicht **701** und die zweite elektrisch leitfähige Seitenschicht **702** stellen in der gegenwärtig dargestellten Form eine direkte elektrische Verbindung zwischen jeder ersten elektrisch leitfähigen Schicht **103** sowie jeder zweiten elektrisch leitfähigen Schicht **104** dar, wodurch es zu elektrischen Kurzschlüssen kommt.

[0067] Um diese elektrischen Kurzschlüsse zu beseitigen und die beabsichtigte mäandrierende Struktur für das thermoelektrische Element **100** zu erzielen werden nun die erste elektrisch leitfähige Seitenschicht **701** sowie die zweite elektrisch leitfähige Seitenschicht **702** strukturiert. Gemäß diesem Ausführungsbeispiel wird mittels eines fokussierten Laserstrahls das Aluminium der ersten elektrisch leitfähigen Seitenschicht **701** und der zweiten elektrisch leitfähigen Seitenschicht **702** gezielt entfernt, d.h. eine Laserablation durchgeführt. Die mittels Laserablation freigelegten Streifen der ersten Schichtstapel-Seitenwand **105** sowie der zweiten Schichtstapel-Seitenwand **106** weisen gemäß diesem Ausführungsbeispiel eine Breite von < 20 µm auf.

[0068] Aus der ersten elektrisch leitfähigen Schicht **701** und der zweiten elektrisch leitfähigen Schicht **702** werden somit die ersten Koppelschicht-Elemente **107** mit dazwischen angeordneten ersten Aussparungen **108** sowie die zweiten Koppelschicht-Elemente **109** mit dazwischen angeordneten zweiten Aussparungen **110** erzeugt. Das Entfernen des Aluminiums erfolgt dabei derart, dass jede erste elektrisch leitfähige Schicht **103** nur an einer einzigen Schichtstapel-Seitenwand **105**, **106** mit der jeweils benachbarten zweiten elektrisch leitfähigen Schicht **104** elektrisch kontaktiert wird. Die ersten Koppelschicht-Elemente **107** und die zweiten Koppelschicht-Elemente **109** ermöglichen somit anschaulich den Thermoobergang zwischen jeweils einer ersten elektrisch leitfähigen Schicht **103** und einer zweiten elektrisch leitfähigen Schicht **104**. Anschaulich erfolgt somit eine serielle Kopplung aller Thermopaare miteinander.

[0069] Alternativ kann das Strukturieren der ersten elektrisch leitfähigen Seitenschicht **701** sowie der zweiten elektrisch leitfähigen Seitenschicht **702** mittels eines Maskierungs-, Lithographie- und Ätzprozesses erfolgen.

[0070] Aus dem Schichtstapel **101** mit den mit den ersten Koppelschicht-Elementen **107** und den zweiten Koppelschicht-Elementen **109** kann nun in geeigneter Größe in thermoelektrische Streifen geschnitten werden. Die Größe dieser thermoelektrischen Streifen bestimmt sich dabei entsprechend den gewünschten thermoelektrischen Parametern für das herzustellende thermoelektrische Element **100**.

[0071] Diejenigen elektrisch leitfähigen Schichten **103**, **104**, welche in diesen thermoelektrischen Strei-

fen lediglich eine einzige benachbarte, parallel verlaufende weitere elektrisch leitfähige Schicht **104**, **103** aufweisen, werden mit jeweils einem auf der ersten Schichtstapel-Seitenwand **105** befindlichen Anschluss **112** elektrisch gekoppelt. Daraus resultiert dann die in **Fig. 8** dargestellte Zwischenstufe beim Herstellen des thermoelektrischen Elements **100**. Die aufeinander laminierten Schichten des Schichtstapels **100** können dabei eine Gesamtdicke von einigen mm bis zu mehreren cm ergeben.

[0072] Abschließend werden die Seitenflächen des Schichtstapels **101** des thermoelektrischen Streifens und insbesondere die ersten Koppelschicht-Elemente **107** und die zweiten Koppelschicht-Elemente **109** mit einer Passivierungsschicht **111** bedeckt. Diese Passivierungsschicht **111** dient, wie oben bereits erwähnt, der elektrischen Isolierung des Schichtstapels **101** des thermoelektrischen Streifens gegen unbeabsichtigte elektrische Kurzschlüsse sowie dem Schutz vor Umwelteinflüssen. Beim Erzeugen der Passivierungsschicht **111** bleiben die Anschlüsse **112** frei, d.h. werden nicht mit elektrisch isolierendem Material bedeckt, damit das nun entstandene thermoelektrische Element **100** elektrisch kontaktiert werden kann.

[0073] Bei einem alternativen Herstellungsverfahren für das thermoelektrische Element **100** wird ein geeignetes Trägermaterial, beispielsweise ein Glas- oder Siliziumsubstrat, ganzflächig mit einer ersten elektrisch isolierenden Folie beschichtet. Vorzugsweise erfolgt das Beschichten in einem Spin-on-Verfahren, einem Sprühverfahren oder mittels Laminierens. Die erste elektrisch isolierende Folie ist bevorzugt ein schlechter Wärmeleiter und weist eine Dicke im Bereich zwischen 1 µm und 10 µm auf. Auf dieser ersten elektrisch isolierenden Folie wird nun ganzflächig eine Schicht aus einem ersten elektrisch leitfähigen Material erzeugt. Dieses erste elektrisch leitfähige Material weist bevorzugt einen hohen Seebeck-Koeffizienten auf. Diese Schicht aus dem ersten elektrisch leitfähigen Material wird nun mit einer zweiten elektrisch isolierenden Folie ganzflächig beschichtet. Die zweite elektrisch isolierende Folie kann das gleiche Material und die gleichen Maße wie die erste elektrisch isolierende Folie aufweisen. Auf diese zweite elektrisch isolierende Folie wird eine weitere Schicht aus einem zweiten elektrisch leitfähigen Material ganzflächig aufgebracht. Das zweite elektrisch leitfähige Material weist vorzugsweise einen sehr kleinen Seebeck-Koeffizienten oder eine hohen Seebeck-Koeffizienten mit im Vergleich zum ersten elektrisch leitfähigen Material entgegengesetzten Vorzeichen auf. Nun beginnt mit dem Erzeugen einer ersten elektrisch isolierenden Folie über der weiteren Schicht aus dem zweiten elektrisch leitfähigen Material ein neuer Zyklus. Dabei wird eine immer dicker werdende Mehrschicht-Stapelfolie mit einer vorgebbaren Anzahl von Thermopaaren erzeugt. Ist die gewünschte Anzahl von Thermopaaren erreicht, werden aus der Mehrschicht-Stapelfolie Schichtstapel in vorgebarbarer Größe und Form aus der Mehr-

schicht-Stapelfolie herausgetrennt und wie oben zu Fig. 6 bis Fig. 8 beschreiben weiter bearbeitet.

[0074] Im Übrigen sei darauf hingewiesen, dass zum Erhöhen der Gesamt-Thermospannung auch mehrere thermoelektrische Elemente 100 seriell miteinander verschaltet werden können, wenn sie als thermoelektrische Generatoren verwendet werden.

[0075] In diesem Dokument sind folgende Veröffentlichungen zitiert:

[1] Lehmann V.: „The Physics of Macropore Formation in Low Doped N-Type Silicon“, J. of Electrochemical Society, Vol. 140, No. 10, pp. 2836–2843 (1993)

[2] Fedorov M.I. et al.: „Universal Thermoelectric Unit“, AIP Conf. Proc., Vol. 316, pp. 324–327 (1995)

[3] Glosch H. et al.: „A Thermoelectric Converter for Energy Supply“, Sensors and Actuators, Vol. 74, pp. 246–250 (1999)

[4] Strasser M. et al.: „Miniaturized Thermoelectric Generators Based on Poly-Si and Poyt-SiGe Surface Micromachining“, Proc. of Eurosensors XV, pp. 26–29 (2001)

[5] Stark I., and Stordeur M.: „New Micro Thermoelectric Devices Based On Bismuth Telluride-Type Thin Solid Films“, IEEE Proc. 18<sup>th</sup> Int. Conf. on Thermoelectrics, pp. 465–472 (1999)

## Bezugszeichenliste

100	thermoelektrisches Element gemäß Erfindung
101	Schichtstapel
102	elektrisch isolierende Folie
103	erste elektrisch leitfähige Schicht
104	zweite elektrisch leitfähige Schicht
105	erste Schichtstapel-Seitenwand
106	zweite Schichtstapel-Seitenwand
107	erstes Koppelschicht-Element
108	erste Aussparung
109	zweites Koppelschicht-Element
110	zweite Aussparung
111	Passivierungsschicht
112	Anschluss
201	erste Rolle mit Folie
202	Folie
203	Folienunterseite
204	dampfförmiges, elektrisch leitfähiges Material
205	beheizte Quelle
206	beschichtete Folie
207	zweite Rolle mit beschichteter Folie
301	erste Rolle mit erster beschichteter Folie
302	erste beschichtete Folie
303	zweite Rolle mit zweiter beschichteter Folie
304	zweite beschichtete Folie
305	Laminiereinrichtung
306	Stapelfolie
307	dritte Rolle mit Stapelfolie
400	Mehrschicht-Stapelfolie
401	Trommel
402	erste Mehrschichtfolie
403	zweite Mehrschichtfolie
500	Schnitt in Mehrschicht-Stapelfolie
701	erste elektrisch leitfähige Seitenschicht
702	zweite elektrisch leitfähige Seitenschicht

## Patentansprüche

### 1. Thermoelektrisches Element

- mit einem ersten Schichtstapel, welcher aufweist eine erste Trägerschicht aus einem elektrisch isolierenden Material und eine auf der ersten Trägerschicht angeordnete erste Funktionsschicht aus einem ersten elektrisch leitfähigen Material,
- mit einem auf dem ersten Schichtstapel angeordneten zweiten Schichtstapel, welcher aufweist eine zweite Trägerschicht aus einem elektrisch isolierenden Material und eine auf der zweiten Trägerschicht angeordnete zweite Funktionsschicht aus einem zweiten elektrisch leitfähigen Material,
- wobei der erste Schichtstapel und der darüber angeordnete zweite Schichtstapel einen Gesamtschichtstapel bilden, und
- mit einer elektrisch leitfähigen Verbindungsschicht, welche an mindestens einer Seitenfläche des Gesamtschichtstapels vorgesehen ist und welche die erste Funktionsschicht mit der zweiten Funktionsschicht elektrisch koppelt,

– wobei das erste elektrisch leitfähige Material ungleich dem zweiten elektrisch leitfähigen Material ist, und

– wobei das erste elektrisch leitfähige Material und das zweite elektrisch leitfähige Material derart gewählt sind, dass die erste Funktionsschicht und die zweite Funktionsschicht ein Thermopaar bilden.

2. Thermoelektrisches Element gemäß Anspruch 1, bei dem die erste Trägerschicht und die zweite Trägerschicht eine Kunststoffolie aufweisen.

3. Thermoelektrisches Element gemäß Anspruch 1 oder 2, bei dem die erste Trägerschicht und die zweite Trägerschicht das gleiche elektrisch isolierende Material aufweisen.

4. Thermoelektrisches Element gemäß einem der Ansprüche 1 bis 3, bei dem mindestens ein weiterer erster Schichtstapel über dem Gesamtschichtstapel und mindestens eine weitere elektrisch leitfähige Verbindungsschicht vorgesehen sind, wobei die weitere elektrisch leitfähige Verbindungsschicht an einer weiteren Seitenfläche des Gesamtschichtstapels vorgesehen ist.

5. Thermoelektrisches Element gemäß einem der Ansprüche 1 bis 4, bei dem die erste Trägerschicht und/oder die zweite Trägerschicht mindestens ein elektrisch isolierendes Material aus der nachfolgenden Gruppe aufweisen/aufweist: Benzo-Cyclo-Buten, Polyethylen, Polyethylenaphthalat, Polyethylenterephthalat, Polyimid, Polypropylen und Polytetrafluorethylen.

6. Thermoelektrisches Element gemäß einem der Ansprüche 1 bis 5, bei dem das erste elektrisch leitfähige Material und/oder das zweite elektrisch leitfähige Material mindestens aufweisen/aufweist: Chrom, Eisen, Kupfer, Nickel, Platin, Rhodium, Titan, eine Legierung aus den vorangegangenen Metallen, ein elektrisch leitfähiges Polymer, einen p-Halbleiter, insbesondere p-dotiertes Silizium und/oder Wismut-Antimon-Tellurid, und/oder einen n-Halbleiter, insbesondere n-dotiertes Silizium und/oder Wismut-Selenid-Tellurid.

7. Thermoelektrisches Element gemäß einem der Ansprüche 1 bis 6, bei dem das erste elektrisch leitfähige Material, das zweite elektrisch leitfähige Material sowie das elektrisch isolierende Material der ersten Trägerschicht und der zweiten Trägerschicht jeweils eine Wärmeleitfähigkeit von unter  $10 \text{ W} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$  aufweisen.

8. Thermoelektrisches Element gemäß einem der Ansprüche 1 bis 7, bei dem die elektrisch leitfähige Verbindungsschicht mindestens ein Material aus der nachfolgenden Gruppe aufweist: Aluminium, Chrom, Gold, Kupfer, Nickel, Silber, Platin und Titan.

9. Verfahren zum Herstellen eines thermoelektrischen Elements mit den folgenden Schritten:

- Bereitstellen einer ersten elektrisch isolierenden Folie und einer zweiten elektrisch isolierenden Folie;
- Aufbringen eines ersten elektrisch leitfähigen Materials auf die erste elektrisch isolierende Folie, so dass eine erste Mehrschichtfolie erzeugt wird;
- Aufbringen eines zweiten elektrisch leitfähigen Materials auf die zweite elektrisch isolierende Folie, so dass eine zweite Mehrschichtfolie erzeugt wird, wobei das zweite elektrisch leitfähige Material ungleich dem ersten elektrisch leitfähigen Material ist und einen hohen Seebeck-Koeffizienten aufweist;
- Aufbringen der zweiten Mehrschichtfolie auf die erste Mehrschichtfolie, so dass eine Schichtenfolie erzeugt wird;
- Strukturieren der Schichtenfolie, so dass aus der Schichtenfolie ein Gesamtschichtstapel herausgetrennt wird;
- Aufbringen einer elektrisch leitfähigen Schicht auf mindestens einer Seitenfläche des Gesamtschichtstapels; und
- Strukturieren der elektrisch leitfähigen Schicht auf der Seitenfläche des Gesamtschichtstapels, so dass eine elektrisch leitfähige Verbindungsschicht erzeugt wird;

10. Verfahren gemäß Anspruch 9, bei dem als erste elektrisch isolierende Folie und als zweite elektrisch isolierende Folie eine Kunststoffolie verwendet wird.

11. Verfahren gemäß Anspruch 9 oder 10, bei dem die Seitenfläche des Gesamtschichtstapels vor dem Aufbringen der elektrisch leitfähigen Schicht gereinigt wird.

12. Verfahren gemäß einem der Ansprüche 9 bis 11, bei dem auf die Schichtenfolie mindestens eine weitere erste Mehrschichtfolie aufgebracht wird, und bei dem mindestens eine weitere elektrisch leitfähige Verbindungsschicht auf einer weiteren Seitenfläche des Gesamtschichtstapels derart gebildet wird, dass das zweite elektrisch leitfähige Material der zweiten Mehrschichtfolie elektrisch mit dem ersten elektrisch leitfähigen Material der weiteren ersten Mehrschichtfolie gekoppelt wird.

13. Verfahren gemäß einem der Ansprüche 9 bis 12, bei dem das Aufbringen der zweiten Mehrschichtfolie auf die erste Mehrschichtfolie mittels Laminierens erfolgt.

14. Verfahren gemäß einem der Ansprüche 9 bis 13, bei dem das Strukturieren der elektrisch leitfähigen Schicht auf der Seitenfläche des Gesamtschicht-

stapels mittels eines Lasers erfolgt.

15. Verfahren gemäß einem der Ansprüche 9 bis 14, bei dem das Aufbringen des ersten elektrisch leitfähigen Materials auf die erste elektrisch isolierende Folie und/oder das Aufbringen des zweiten elektrisch leitfähigen Materials auf die zweite elektrisch isolierende Folie und/oder das Aufbringen der elektrisch leitfähigen Schicht auf der Seitenfläche des Gesamtschichtstapels mittels eines Sputter-Prozesses, mittels Aufdampfens oder mittels eines CVD-Prozesses erfolgt.

16. Verfahren gemäß einem der Ansprüche 9 bis 15, bei dem zum Fertigstellen des thermoelektrischen Elements über allen Seitenflächen des Gesamtschichtstapels und somit über allen elektrisch leitfähigen Verbindungsschichten eine Passivierungsschicht aufgebracht wird.

17. Verfahren gemäß einem der Ansprüche 9 bis 16, bei dem als Material für die erste elektrisch isolierende Folie und/oder die zweite elektrisch isolierende Folie mindestens ein elektrisch isolierendes Material aus der nachfolgenden Gruppe gewählt wird: Benzo-Cyclo-Buten, Polyethylen, Polyethylnaphthalat, Polyethylenterephthalat, Polyimid, Polypropylen und Polytetrafluorethylen.

18. Verfahren gemäß einem der Ansprüche 9 bis 17, bei dem als erstes elektrisch leitfähiges Material und/oder als zweites elektrisch leitfähiges Material mindestens ein Material aus der nachfolgenden Gruppe gewählt wird: Chrom, Eisen, Kupfer, Nickel, Platin, Rhodium, Titan, eine Legierung aus den vorangegangenen Metallen, ein elektrisch leitfähiges Polymer, ein p-Halbleiter, insbesondere p-dotiertes Silizium und/oder Wismut-Antimon-Tellurid, und/oder ein n-Halbleiter, insbesondere n-dotiertes Silizium und/oder Wismut-Selenid-Tellurid.

19. Verfahren gemäß einem der Ansprüche 9 bis 18, bei dem als erstes elektrisch leitfähiges Material, als zweites elektrisch leitfähiges Material sowie als elektrisch isolierendes Material der ersten elektrisch isolierenden Folie und der zweiten elektrisch isolierenden Folie jeweils ein Material mit jeweils einer Wärmeleitfähigkeit von unter  $100 \text{ W} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$  verwendet wird.

20. Verfahren gemäß einem der Ansprüche 9 bis 19, bei dem für die elektrisch leitfähige Verbindungsschicht mindestens ein Material aus der nachfolgenden Gruppe verwendet wird: Aluminium, Chrom, Gold, Kupfer, Nickel, Silber, Platin und Titan.

Es folgen 3 Blatt Zeichnungen

FIG 1

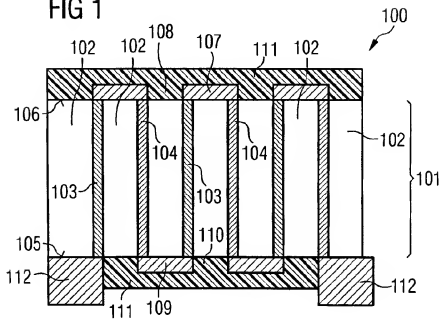


FIG 2

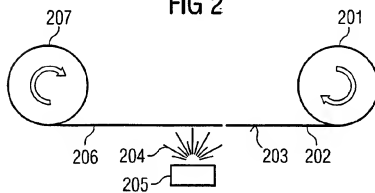


FIG 3

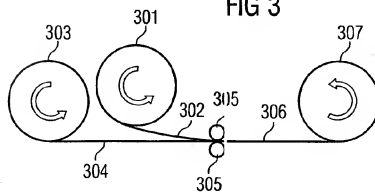


FIG 4

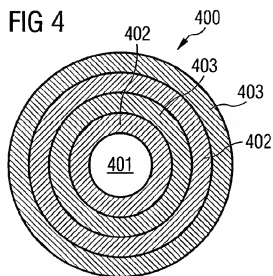


FIG 5

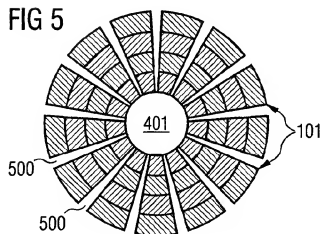


FIG 6

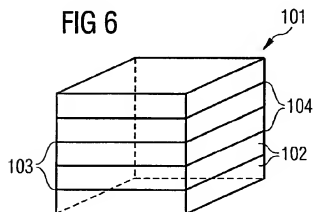


FIG 7

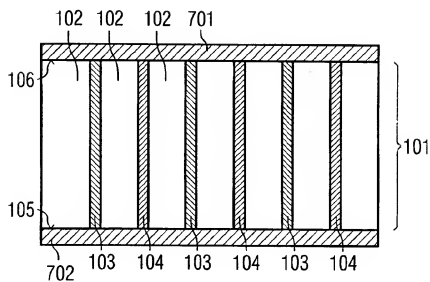


FIG 8

